

アメリカミズアブ幼虫による処理に適した食品廃棄物

平康博章・瀬山智博・和智仲是・吉田弦・笠井浩司・藤谷泰裕

Food Waste Suitable for Treatment Using Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae

Hirofumi HIRAYASU, Tomohiro SEYAMA, Nakatada WACHI, Gen YOSHIDA, Koji KASAI and Yasuhiro FUJITANI

Summary

Larvae of black soldier fly (*Hermetia illucens*) reduce the quantity of various organic matters by feeding and they can be used as an alternative material to fish flour on their postgrowth stage. Therefore, they are expected to be applied to treatment of food waste. In this study, we examined what type of food waste is suitable for the treatment using black soldier fly larvae. Five categories of food waste, "Vegetable", "Fruit", "Carbohydrate", "Meat" and "Fish" were assigned to the treatment by larvae and compared with each other regarding weight reduction rate and larvae yield. "Vegetable", "Fruit" and "Carbohydrate" categories were superior to "Meat" and "Fish" categories in weight reduction rate, larvae yield and survival rate, therefore the former 3 categories of food waste are confirmed to be suitable to the treatment. Mixture of 5 categories showed the highest reduction rate, suggesting the possibility that household food waste can be treated efficiently by larvae. The effect of salinity and fat content to the larvae treatment was examined by adding salt or fat to food waste. Salinity greater than 1.0%w/w or fat content more than 5.0%w/w lowered the weight reduction rate significantly. It is considered that the larvae are tolerant to salinity in food waste but fat content in food waste requires attention. This research was supported by the Environment Research and Technology Development Fund (1-1604) of the Ministry of the Environment, Japan.

I. はじめに

現在、我が国の食品廃棄物の利用率は24%¹⁾と低い値に留まっている。その理由には、食品廃棄物のうち小売・外食産業や家庭から排出されるものの多くは分別が難しく、また高水分で腐敗しやすく飼料化・肥料化が困難であることが挙げられる。このような食品廃棄物はメタン発酵等によりエネルギー化することで利用率を上げることが提案されている²⁾が、食品に由来する栄養成分を有効活用できる技術を適用して有価物生産の原料とすることがより望ましい。そこで我々は新たな食品廃棄物利用技術として、双翅目の昆虫であるアメリカミズアブ (*Hermetia illucens*) の生理機能を活用した物質転換に注目した。

アメリカミズアブは北米原産と考えられているが、物流に付随して分布を拡げ、日本を含む世界の熱帯から温

帯に広く侵入・定着している³⁾。アメリカミズアブの幼虫は食品廃棄物や家畜排せつ物などの有機物を幅広く利用できる食性を持ち、炭素・窒素分を脂肪やタンパク質の形で体内へ高濃度に蓄積する³⁾。成長した幼虫は魚類や家畜・家禽の飼料として利用できることが確かめられており³⁾、特に養魚飼料への利用が期待される。現在、養魚飼料の5割以上を占める魚粉は、その原料となる小魚の漁獲量や需給バランスの変化により価格が乱高下しており、安定して供給できる代替物が求められている⁴⁾。さらにアメリカミズアブ幼虫による食品廃棄物の処理の利点として、幼虫の体液中に存在する抗菌ペプチド等の作用により摂食残さ中の微生物の活動が抑制される⁵⁾ことや、成虫がイエバエ (*Musca domestica*) のようにヒトの食物に誘引されることがほとんどなく、人畜・作物への害や病原体媒介の危険が少ないとされる⁶⁾ことが挙げられる。これらの有用性・安全性から、アメリカ

カミズアブ幼虫を廃棄物で飼育し、成長した幼虫を水産・畜産用飼料に活用する取組みがアメリカ・中国ほかで提案されている³⁾。

我々は2013年からアメリカミズアブ幼虫を利用した廃棄物処理の研究を開始している。これまでに畜産廃棄物である乳牛ふんを幼虫で処理することによりふん中の炭素・窒素が幼虫に移行すること、ふん中の大腸菌群・真菌が大幅に減少することなどを確認した(未発表)。この知見を踏まえて、本研究では処理の対象を食品廃棄物とし、安定した廃棄物処理効率を得るための基礎データを採取した。これまで、アメリカミズアブ幼虫による食品廃棄物処理について、食品廃棄物の種類ごとに減量効率を調べた報告は少ない。そこで、まずアメリカミズアブ幼虫による処理に適した食品廃棄物の種類を明らかにするために、食品廃棄物を野菜・果物などのカテゴリーに分け、各々の処理効率を明らかにした。また厨芥残さなど塩分や脂肪分を多く含む食品廃棄物の処理を想定して、塩分・脂肪分が処理効率に及ぼす影響についても検討した。

II. 材料および方法

1. 材料

供試虫は、大阪府羽曳野市で採集した成虫由来、もしくは茨城県つくば市の野外集団由来の系統を用いた。孵化直後から米ヌカ(水分75%に調整)を与え25℃で6-8日間予備飼育したもの(体重0.5~2mg程度)を試験に供した。

食品廃棄物を人工的に再現するため、野菜・果物・炭水化物・肉・魚の5カテゴリーの食品を構成材料とする「モデル生ごみ」を調製し使用した。過去の食品廃棄物モデル⁷⁾を元に各カテゴリーの構成材料を選定し、京都市の2014年家庭生ごみ排出状況調査データ⁸⁾を参考に配合率を決定した。各構成材料をフードプロセッサーで1分間粉砕し、第1表の通り混合して調製した。また別途、粉砕した材料を野菜・果物・炭水化物・肉・魚の種別ごとに混合した5種のカテゴリー別廃棄物を調製した(ただし、肉カテゴリー廃棄物としては挽肉のみを使用した)。各廃棄物は窒素自動分析機NDA701(VELP Scientifica, Italia)を用いて粗タンパク質含有率を定量し、試験直前まで-20℃で凍結保存したものを逐次室温で解凍して用いた。

2. 幼虫処理に適した食品廃棄物種類

モデル生ごみ、もしくはカテゴリー別廃棄物100gを、幼虫と共にナイロンメッシュの換気口を設けたプラス

チック容器(直径9cm × 高さ8cm, 容量360ml)中に封入して10・15・20日間処理させた。処理条件は予備試験の結果に基づき、廃棄物現物重量1gあたりの幼虫添加個体数1頭、温度30℃、湿度60-80%RH、明期14時間・暗期10時間とした。処理は3試行を行った。処理期間終了後、幼虫はピンセットで回収して重量を測定した。また、処理残さの重量と水分含量を測定して被処理物の乾物重量減少率を算出した。

3. 塩分・脂肪分が食品廃棄物処理に及ぼす影響

モデル生ごみ50gに食塩、もしくは国内消費量の最も多い食用油であるなたね油⁹⁾を添加して、最終塩分含有率0.1・0.5・1.0・2.0%w/w、最終粗脂肪含有率2.5・5.0・10・20%w/w(ともに現物重量比)に調整した。塩分および粗脂肪の含有率は福岡市の厨芥残さ等調査結果¹⁰⁾¹¹⁾等を参考に決定した。モデル生ごみ中の塩分含有率は食品成分表¹²⁾の値から推定し、粗脂肪含有率は脂質自動分析機Soxtherm SOX414(C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Germany)を用いて定量した。2と同様の処理条件で15日間処理させた。

第1表 モデル生ごみの組成と材料別カテゴリー

品名	現物重量(%)	
	品目別	カテゴリー別
キャベツ	17	野菜 50
ジャガイモ	16	
ニンジン	17	果物 18
リンゴ(搾汁粕)	5	
グレープフルーツ(搾汁粕)	4	
オレンジ(搾汁粕)	4	
バナナ(皮)	5	
豚挽肉	8	肉
卵(殻)	2	10
魚(小アジ丸ごと)	10	魚 10
米飯	3	炭水化物 12
パン	3	
うどん	3	
中華麺	3	
合計	100	100

III. 結果および考察

1. 幼虫処理に適した食品廃棄物種類

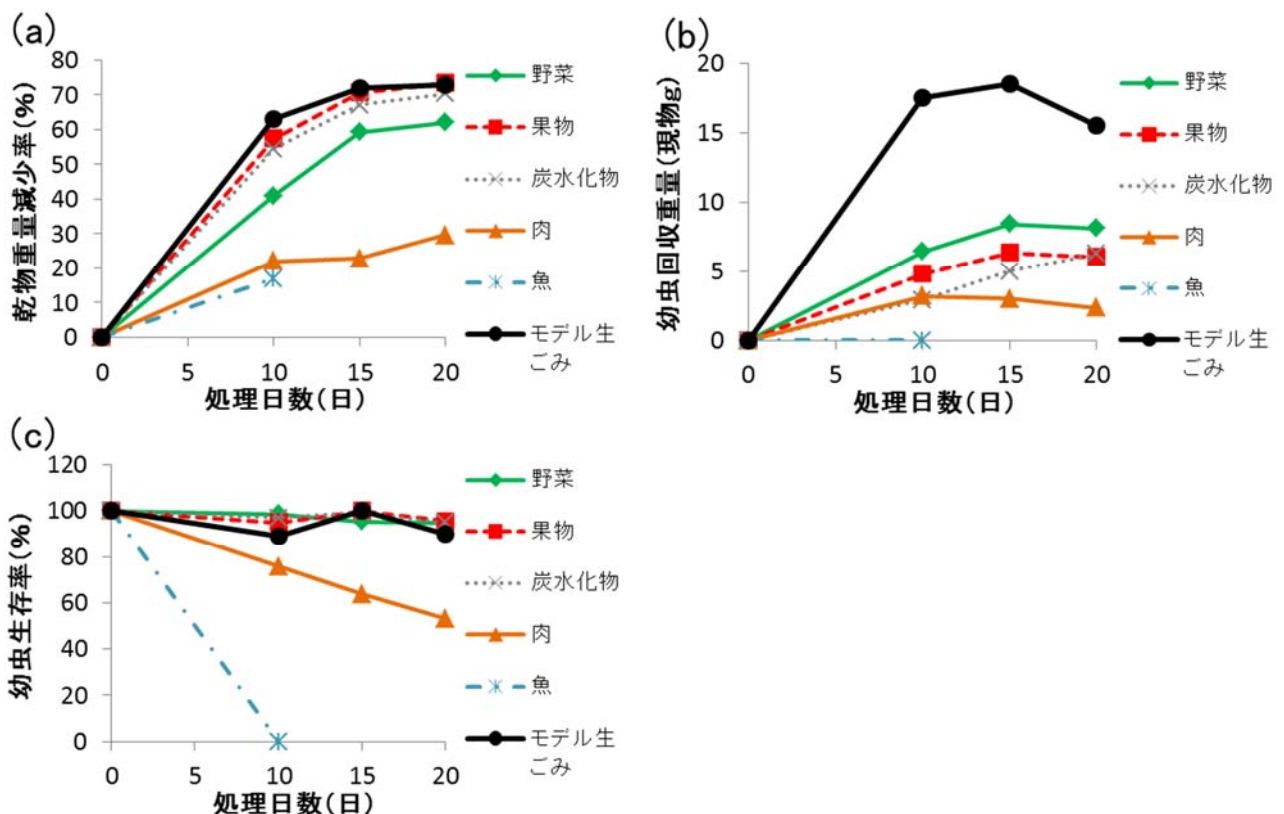
果物・炭水化物カテゴリー廃棄物の乾物重量減少率は、肉・魚の各カテゴリーより高い値で推移し、モデル生ごみとほぼ同等であった。野菜カテゴリーの値はそれらに次いで高かった(第1図a)。幼虫回収重量については、野菜・果物カテゴリーの値が肉・魚カテゴリーより高か

ったものの、モデル生ごみと比較すると半分以下であった（第1図b）．肉・魚カテゴリーでは幼虫の生存率が低く、特に魚カテゴリーでは処理開始後10日以内にすべての幼虫が死滅した（第1図c）．

Cammackら¹³⁾は人工飼料を用いた試験により、アメリカミズアブ幼虫の成長には飼料中のタンパク質／炭水化物の比率が重要であることを報告している．彼らの実験では、粗タンパク質／炭水化物比の偏った飼料で飼育した幼虫は体重増加や蛹化率において、粗タンパク質・炭水化物を等量で含む飼料で飼育した幼虫に劣ることが示されている．我々の試験で使用した野菜・果物カテゴリー廃棄物は粗タンパク質含有率が9%w/w（乾物重量比、以下同じ）・6%w/wと低く、このことがモデル生ごみ（粗タンパク質20%w/w）と比較して処理終了時に回収された幼虫の重量が低かったことの一因と推測される．一方、粗タンパク質含有率が14%w/wと比較的高い炭水化物カテゴリーで回収幼虫重量が野菜・果物カテゴリーと同等もしくはそれより下に留まった原因としては、水分含量の違いが考えられる．炭水化物カテゴリーの水分含量は59%と、野菜カテゴリー（89%w/w）・果物

カテゴリー（87%w/w）よりも低かった．飼料中の水分含量が幼虫の成長に影響することは我々を含む複数の研究¹³⁻¹⁵⁾により示唆されている．また、肉・魚カテゴリーで起きた幼虫の死滅、回収幼虫重量や乾物重量減少率の低値は、タンパク質含有量の過剰に加えて、幼虫にとって有害なタンパク質分解物が高濃度で発生したことが原因と推測される．これらのカテゴリーの廃棄物の処理中には強いアンモニア・アミン類のような臭気が発生していた．なお処理開始時の体重が10 mg以上の幼虫を用いた処理では、魚カテゴリー廃棄物の処理において同様の臭気が発生したものの幼虫の死滅は起こらなかった（未発表）ことから、条件設定によっては魚カテゴリー廃棄物の処理も可能であることが確認された．

以上から、単一カテゴリーとしてアメリカミズアブ幼虫による処理に適する食品廃棄物は野菜・果物・炭水化物カテゴリー廃棄物であることが示された．また、それらに加えて肉・魚カテゴリー廃棄物が混合された家庭生ごみは幼虫により効率よく処理可能であることが示唆された．



第1図 カテゴリー別廃棄物およびモデル生ごみをアメリカミズアブ幼虫に処理させた際の(a)乾物重量減少率、(b)幼虫回収重量、(c)幼虫生存率．値は3試行の平均値(n=3)を示す．

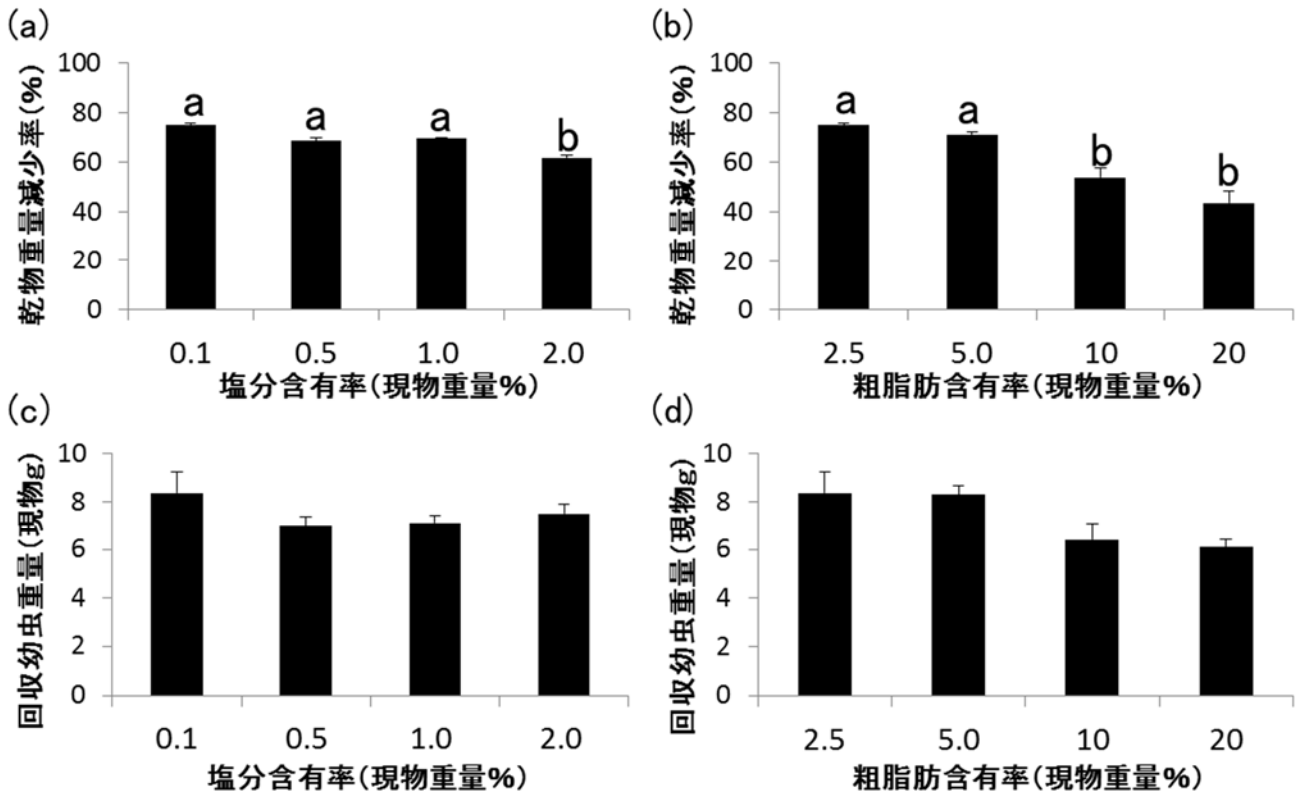
2. 塩分・脂肪分が食品廃棄物処理に及ぼす影響

塩分含有率は1.0%w/wまで、粗脂肪含有率は5%w/w

まで増加させても、塩分0.1%w/w区もしくは粗脂肪2.5%w/w区と比べて乾物重量減少率に有意な差はなかった (Tukey's test, $P > 0.05$. 第2図a, b). 幼虫回収重量に関しては塩分・粗脂肪ともにいずれの含有率でも有意な差はなかった (Tukey's test, $P > 0.05$. 第2図c, d).

食品廃棄物の中でも高塩分と考えられる厨芥残さの塩分含有率は0.2~0.7% (水分含量80%, 湿潤重量

比)程度と推計される⁹⁾. よってアメリカミズアブ幼虫による処理効率は一般的な食品廃棄物に含まれる程度の塩分には影響されないと考えられた. 一方, 脂肪分については調理残さなどで粗脂肪含有率が5%w/wを超えることがあり¹⁰⁾, 処理効率に影響する可能性がある. そのため, 処理前に脂肪含有率を低く抑える調整が必要な場合があると考えられた.



第2図 モデル生ごみ中の塩分および粗脂肪含有率が、アメリカミズアブ幼虫に処理させた際の乾物重量減少率および幼虫回収重量に与える影響.

値は3 試行の平均値±標準誤差を示す. 異符号間に有意差あり (Tukey's test, $P < 0.05$).

IV. 摘要

アメリカミズアブの幼虫は様々な有機物を摂食して減量し, 成長した幼虫は飼料利用が可能であるため, 食品廃棄物処理への利用が期待される. 本研究ではどのような種類の食品廃棄物が幼虫による処理に適しているかを検討した. 野菜・果物・炭水化物・肉・魚の5カテゴリーの食品廃棄物を幼虫に処理させ重量減少や幼虫の成長を比較した. 野菜・果物・炭水化物カテゴリーは肉・魚カテゴリーよりも廃棄物重量の減少率や幼虫回収重量・幼虫生存率が高く, 幼虫による処理に適していることが示された. 5カテゴリーを混合したモデル生ごみはそれらの値がさらに高かったため, 家庭から排出される食品廃棄物は幼虫により効率

よく処理可能であると考えられた. 食品廃棄物に塩分もしくは脂肪分を添加して幼虫処理に対する影響を調べたところ, 塩分含有率は1.0%w/w, 粗脂肪含有率は5.0%w/wを越えると食品廃棄物の重量減少率が有意に低下した. アメリカミズアブ幼虫は食品廃棄物に含まれる程度の塩分に影響を受けないが, 脂肪分の含有率に関しては注意が必要であると考えられた.

本研究は環境省の環境研究総合推進費 (1-1604) により実施された. また, 試験供試虫のうちつくば市の野外集団由来の幼虫は (国研) 国際農林水産業研究センターの中村 達主任研究員から提供頂いた.

V. 引用文献

1) 農水省 (2016). バイオマス活用推進基本計画. 9-10.

- 2) Diener S, Zurnrugg C and Tockner K (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing of optimal feeding rates. *Waste Manage. Res.* 27: 603-610.
- 3) Van Huis A, Van Itterbeek J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G and Vantomme P (2013). *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. FAO Forestry Paper. 171: 93-95.
- 4) 秋山敏男 (1994). 新しい養魚飼料 (編: 渡邊武). 恒星社厚生閣. 35-42.
- 5) Erickson MC, Islam M, Sheppard C, Liao J and Doyle MP (2004). Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *J. Food Prot.* 67: 685-690.
- 6) Sheppard DC, Tomberlin JK, Joyce JA, Kiser BC and Sumner SM (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *J. Med. Entomol.* 39: 695-698.
- 7) 李玉友・佐々木宏・奥野芳男・関廣二・上垣外郁夫 (1998). 生ごみの高温メタン発酵に及ぼす投入濃度の影響. *環境研究工学研究論文集* 35: 29-39.
- 8) 京都市 (2015). 第57回京都市廃棄物減量等推進審議会 資料5.
- 9) 浜島守男 (2014). 食用油脂入門<新訂版> (監修: 神村義則). 日本食糧新聞社. 14.
- 10) 草野陽子・久保倉宏一・富田弘樹 (2008). 業務用生ごみ処理機による食品残渣の堆肥化生成物性状調査 (第2報). *福岡保健環境研報*. 31: 127-131.
- 11) 久保倉宏一・藤岡栄子・富田弘樹・瓜生佳代 (2004). 業務用生ごみ処理機による食品残渣の堆肥化生成物性状調査. *福岡保健環境研報* 29: 95-99.
- 12) 文科省 (2015). 日本食品標準成分表2015年版 (七訂)
- 13) Cammack JA and Tomberlin JK (2017). The impact of diet protein and carbohydrate on select life-history traits of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*. 8: 56.
- 14) 和智仲是・中村達・平康博章・瀬山智博・笠井浩司・藤谷泰裕 (2017). 餌水分含量がアメリカミズアブ (双翅目・ミズアブ科) 幼虫の成長に与える影響. 第61回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集. 118.
- 15) Fatchurochim S, Geden CJ, and Axtell RC (1989). Filth fly (Diptera) oviposition and larval development in poultry manure of various moisture levels. *J. Entomol. Sci.* 24: 224-231.